

ISSN 1392-0227 (print)
ISSN 2335-8793 (online)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETO
MAISTO INSTITUTAS

FOOD INSTITUTE OF KAUNAS UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

ПИЩЕВОЙ ИНСТИТУТ КАУНАССКОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Maisto chemija ir technologija Food chemistry and technology Химия и технология пищи

Mokslo darbai
Proceedings
Научные труды

2016. T. 50, Nr. 1

Eina nuo 1964 m.
Published since 1964
Издается с 1964 г.

Kaunas • 2016

Turinys ♦ Contents

I. Jasutienė, G. Garmienė, A. Šarkinas. Pieno gėrimų ir jogurto su įvairiais uogų produktų priedais antioksidacinės savybės ir spalvos charakteristikos.....5	Г. Полищук, Г. Симахина, И. Устименко, В. Дорошенко, Р. Раманаускас. Научное обоснование состава эмульсий для нормализации белково-жировых продуктов45
И. Кишенько, Ю. Крыжова, М. Филоненко. Особенности использования трансглутаминазы в технологии реструктурированных ветчин из говядины12	И. Страшинский, В. Пасичный, О. Фурсик. Влияние содержащей белок пищевой композиции на качество вареных колбасных изделий56
О. Кочубей-Литвиненко, А. Украинец, В. Ищенко, Н. Суходольская, Н. Ищенко. Изучение возможных преобразований лактозы в молочной сыворотке, обработанной электроискровыми разрядами.....20	L. Šernienė, G. I. Šaikamal, A. Ž. Isabaev, L. Laučienė, D. Sekmokienė. Ūkio dydžio įtakos pieno kokybės rodikliams analizė Baltijos šalyse ir Kazachijoje.....68
А. Кретов, А. Украинец, В. Пасичный, А.-Х. Хайдер М., М. Полумбрик. Исследования микроструктуры мяса перепелов в процессе замораживания29	D. Vizbickienė, E. Bartkienė, S. Gustienė, G. Juodeikienė, Ž. Valatkevičienė. Miežinių raugų, sucukrintų celiulazė ir fermentuotų <i>Pediococcus acidilactici</i> , įtaka kvietinių kepinių kokybei.....75
Т. Лисовская, В. Юкало, Н. Чёрная. Изучение возможности использования экструдированной кукурузной муки в технологии бисквита для диетического питания.....36	Nurodymai straipsnių autoriams.....85 Instructions to Authors.....87

Maisto chemija ir technologija – Food Chemistry and Technology

Išėina 2 kartus per metus – 2 issues per year

Leidėjas – Publisher:

KTU Maisto Institutas – KTU Food Institute

Taikos pr. 92, LT-51180 Kaunas, Lithuania

tel. (370 37) 312393

mai@ktu.lt

<http://ktu.edu/mai>

Redaktorių kolegija – Editorial board:

Vyriausioji redaktorė

Editor in Chief

habil. dr. **Joana Šalomskienė**

KTU MaI

Food Institute of Kaunas

University of Technology,

Lithuania

Tel. (370 37) 312380

Prof. **Andrej Malkov**

Loughborough universitetas, JK

Loughborough university,

United Kingdom

Dr. **Antanas Šarkinas**

KTU MaI

Food Institute of Kaunas

University of Technology,

Lithuania

Atsakingoji sekretorė

Executive Editor

Emilija Golovanova

KTU MaI

Food Institute of Kaunas

University of Technology,

Lithuania

Tel. (370 37) 312358

Dr. **Dalė Malkova**

Glazgo universitetas, JK

Glasgow University,

United Kingdom

Dr. **Thierry Talou**

Tulūzos nacionalinis

politechnikos institutas,

Prancūzija

National Polytechnic Institute

of Toulouse, France

Dr. **Galina Garmienė**

KTU MaI

Food Institute of Kaunas

University of Technology,

Lithuania

Prof. dr. **Jozef Nagy**

Veterinarijos medicinos

universitetas, Slovakija

University of Veterinary Medicine,

Slovakia

Prof. dr. **Rimantas Venskutonis**

KTU

Kaunas University of

Technology, Lithuania

Prof. dr. **Vladimir Jukalo**

Ternopolio valstybinis technikos

universitetas, Ukraina

Ternopil State Technical

University, Ukraine

Prof. dr. **Toomas Paalme**

Talino technologijos universitetas,

Estija

Tallinn University of Technology,

Estonia

Doc. dr. **Rimantė Vinauskienė**

KTU

Kaunas University of

Technology, Lithuania

Prof. dr. **Daina Kārklīņa**

Latvijas zemes ūkio universitetas

Latvia University of Agriculture,

Latvia

Habil. dr. **Irina Rožkova**

Rusijos pieno pramonės mokslo

tyrimo institutas, Rusija

All-Russian Dairy Research

Institute, Russia

Doc. dr. **Gintarė Zaborskienė**

LSMU

Lithuanian University of Health

Sciences, Lithuania

„Maisto chemija ir technologija“ cituojamas – is covered by the:

CAB ABSTRACTS Database Index Copernicus

Redaktorių kolegijos adresas –

Address for correspondence:

Taikos pr. 92, LT-51180 Kaunas, Lithuania

tel. (370 37) 312380, 312393

mai@ktu.lt

<http://ktu.edu/mai>

Изучение возможных преобразований лактозы в молочной сыворотке, обработанной электроискровыми разрядами

Оксана Кочубей-Литвиненко, Анатолий Украинец, Вера Ищенко, Надежда Суходольская

Национальный университет пищевых технологий, ул. Владимирская 68, 01601 Киев, Украина;
эл. п. okolit@email.ua

Николай Ищенко

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская 60,
01601 Киев, Украина

Статья посвящена изучению возможных преобразований лактозы в молочной сыворотке, происходящих при реализации объемного электроискрового диспергирования гранул металлов в ее среде.

Объектом исследований являлись творожная сыворотка, обезжиренная и очищенная от частиц казеиновой пыли, и модельный раствор лактозы с концентрацией $(4,7 \pm 2) \%$, которые подвергались электроискровой обработке при температуре $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ с экспозицией 60 с.

Полученные растворы до и после обработки исследовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР).

Предположены варианты прохождения физико-химических процессов в молочной сыворотке при проведении электроискровой обработки и схема направлений возможных преобразований лактозы.

Изучено изменение физико-химических показателей творожной сыворотки до и после электроискровой обработки.

На масс-фрагментограммах творожной сыворотки, обработанной электроискровыми разрядами в течение 1 мин, открытых с точными массами лактозы и лактобионовой кислоты, обнаружен хроматографический пик со временем удержания 0,79 мин, который может быть отнесен к лактобионовой кислоте. Установлено, что данный пик отсутствовал на хроматограммах обработанного раствора молочного сахара и исходной творожной сыворотки.

Ключевые слова: молочная сыворотка, лактоза, лактулоза, лактобионовая кислота, электроискровая обработка, ВЭЖХ-МСВР, магний.

Введение

Лактоза, как единственный низкомолекулярный углевод животного происхождения и один из трех основных компонентов молочной сыворотки, начиная с открытия Ф. Бертоллети в 1615 году, вот уже на протяжении 400 лет привлекает внимание исследователей во всем мире. Более века изучается проблема производства и использования не только лактозы, но и ее производных, системный перечень которых насчитывает около 50 наименований [1]. Они широко применяются в пищевой промышленности, медицине, косметологии, а по востребованности и сфере использования даже конкурируют с лактозой [2–4]. Считается, что экономический потенциал производных лактозы не только окупает затраты на разработку и

производство, но и компенсирует все издержки на исходное сырье [1].

Особый интерес благодаря своим физико-химическим и биологическим свойствам вызывает лактулоза – самый распространенный и эффективный пребиотик; этот углевод нашел широкое применение при производстве продуктов функционального питания и лекарственных средств [1, 3–7]. Лактулозу получают изомеризацией лактозы, происходящей, как известно из химии углеводов, по двум механизмам. На данный момент производство лактозо-лактuloзных сиропов из растворов лактозы основано на внутримолекулярной перегруппировке лактозы по механизму LA-трансформации в щелочной среде [1].

В последнее десятилетие внимание исследователей во всем мире сосредоточено еще на одном производном лактозы – лактобионовой кислоте (4-О-β-D-галактопиранозил-D-глюконовая кислота). Это относительно новый продукт, полученный в результате окисления лактозы, и одно из наиболее перспективных биологически активных соединений.

Благодаря своим уникальным свойствам лактобионовая кислота применяется в медицине и при производстве элитной косметики [7–9]. Продолжаются исследования по изучению возможных направлений применения лактобионовой кислоты в пищевой промышленности. Есть сведения, что ее использование позволяет сократить время сквашивания и созревания при производстве кисломолочных напитков, сыров [7, 10], поддержать стабильность гелевых структур [2, 9], устранить горечь, улучшить аромат и вкусовые характеристики заквасок [7–8, 11], а также защитить от окисления частично гидрогенизированные растительные жиры [3, 8].

Учитывая вышесказанное, поиск новых эффективных методов получения производных лактозы, в частности, лактобионовой кислоты, и изучение перспективных сфер ее использования является актуальной научной задачей.

Существуют различные способы получения лактобионовой кислоты [10–12, 19]. Но они, как правило, или основаны на использовании токсичных элементов в качестве катализаторов, или являются достаточно дорогостоящими. В последнее время интерес исследователей направлен на изучение электрохимической активации молочной сыворотки как один из перспективных способов получения лактобионовой кислоты.

При электрохимической активации молочной сыворотки в зависимости от условий может протекать как окисление лактозы с последующим образованием лактобионовой кислоты [10, 14], так и ее изомеризация с преобразованием в лактулозу [13, 15].

Возможным перспективным способом преобразования лактозы является электроискровая обработка. При реализации объемного электроискрового диспергирования гранул металлов в водной среде получают коллоидные растворы металлов [17], которые находят практическое применение в аграрной промышленности, ветеринарии; продолжается изучение целесообразности их использования в качестве катализаторов пищевых производств.

Авторами исследована возможность проведения данного процесса в молочной

сыворотке, при этом отмечена возможность ее обогащения частицами магния и марганца [17]. Поскольку эти элементы являются катализаторами многих процессов, в том числе могут ускорять трансформацию лактозы при определенных условиях, внимания заслуживают исследования, направленные на изучение процессов преобразования лактозы, которые будут протекать при электроискровой обработке молочной сыворотки.

Для идентификации преобразований лактозы выбран наиболее мощный и многоцелевой физико-химический метод анализа – хромато-масс-спектрометрия, обладающая чувствительностью, информативностью и надежностью.

Целью работы являлось исследование возможных преобразований лактозы в молочной сыворотке, происходящих при реализации объемного электроискрового диспергирования гранул металлов в ее среде.

Материалы и методика исследований

Объектами исследований выступали творожная сыворотка и модельный раствор лактозы с концентрацией $(4,7 \pm 2) \%$, которые подвергали электроискровой обработке при температуре $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ с экспозицией 60 с.

Творожную сыворотку предварительно обезжиривали и очищали от частиц казеиновой пыли на сепараторе-сливкоотделителе (далее – сыворотка творожная осветленная). Сепарирование проводили при температуре $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$. Поток сыворотки регулировали таким образом, чтобы ее жирность после сепарирования не превышала 0,1 %.

Электроискровую обработку проводили на экспериментальном технологическом комплексе, основным элементом которого является генератор разрядных импульсов (частота импульсов 0,2–2,0 кГц; индуктивность разрядного контура 1 мкГ) с силовой частью, построенной на тиристорной элементной базе. В качестве накопителя энергии использовался конденсатор емкостью 100 мкФ [16]. Особенностью используемого метода является наличие токопроводящего слоя гранул магния, расположенных между основными электродами разрядной камеры (объем 300–1000 см³), выполненными из идентичного материала. Подача напряжения $((75 \pm 5) \text{ В})$ на электроды разрядной камеры вызывает прохождение тока по цепи свободно размещенных металлических гранул в режиме стохастической коммутации с формированием характерных искровых разрядов.

В опытных образцах до и после обработки определяли pH на иономере универсальном И-160 М; окислительно-восстановительный потенциал – платиновым электродом на иономере универсальном ЕВ-74; электропроводность – на анализаторе частиц Malvern ZetasizerNano ZS (Malvern Instruments Ltd., Великобритания). Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения анализатора Zetasizer Software 6.20.

Содержание магния устанавливали на атомно-абсорбционном спектрометре AAS1N (Carl-Zeiss Jena, Германия), оснащенном горелкой для пламени ацетилен-воздух и лампой с полым катодом для определения магния. Регистрация атомного поглощения проводилась при длине волны резонансной линии 285,2 нм в пламени ацетилен-воздух. Погрешность измерения при $P=0,95$ не превышала 5 %.

Полученные растворы до и после обработки исследовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией высокого разрешения (ВЭЖХ-МСВР). Подготовку проб осуществляли следующим образом: 1 см³ исследуемого раствора смешивали с таким же объемом 5%-ного раствора ортофосфорной кислоты и центрифугировали (16000 об./мин). Хроматографическое разделение осуществляли на жидкостном хроматографе Dionex UltiMate 3000, оснащенном колонкой Hypersil Gold C18 5x2.1мм, 1.9 мкм в градиентном режиме. Хроматографические условия были следующими: скорость потока 0,3 мл/мин; подвижная фаза: А, деионизированная вода с добавкой 1 % HCOOH + 0,067 ммоль СН₃COONH₄; В, ацетонитрил с добавкой 0,1 % HCOOH; градиент: 0–3,5 мин 95 % А, 3,5–5,5 мин 95–75 % А, 5,5–7,0 мин 75–43 % А, 7–8 мин 43–5 % А, 8–8,5 мин 5 % А, 8,5–10 мин 95 % А. Инжектируемый объем составлял 10 мкл. Масс-спектрометрический анализ выполнен в условиях электрораспылительной ионизации при регистрации отрицательных ионов с помощью масс-спектрометра Q-Exactive (Thermo Scientific). Условия работы были следующими: температура испарителя 270 °С, температура капилляра 350 °С, напряжение 4 кВ, AGC 2·10⁵, разрешение 35000, диапазон сканирования 50–750 m/z.

Результаты и их обсуждение

В ходе предварительных исследований выдвинуты предположения, что проведение электроискрового процесса в среде молочной сыворотки может вызвать ряд физико-химических процессов, среди которых:

1. Окислительно-восстановительные процессы, обусловленные действием точечного электрического разряда.

2. Переход металла с электродов в раствор: $M \leftrightarrow M_{(атом)}$ и $M \leftrightarrow M^{n+} + ne$, где М – металл электрода (в данных исследованиях Mg), e – свободные электроны.

3. Агрегация частиц металла: $M \leftrightarrow M_{(коллоид)}$.

4. Взаимодействие частиц металла с водой, компонентами сыворотки, соединениями и ионами, которые образуются в условиях эксперимента при диссоциации водяного пара.

5. Превращение лактозы и получение ее производных (лактоулозы, лактобионовой кислоты и пр.).

Известно, что при достижении температуры плазмы в канале разряда от 6×10^3 до 8×10^3 К происходит диссоциация водяного пара (в условиях атмосферного давления) с образованием молекул и ионов O₂, H₂, O⁺, H⁺, OH⁺, а также переход металла электродов в раствор в виде наночастиц [16]. Наночастицы металлов могут выступать катализаторами процессов окисления лактозы [19, 20]. Поэтому при таких условиях может наблюдаться как окисление лактозы с образованием лактобионовой кислоты, так и ее изомеризация в щелочной среде с превращениями в лактулозу (рис. 1). Частицы магния, накопленные в системе в результате объемного электроискрового диспергирования, в силу их электрохимической активности, скорее всего, выступают как катализаторы обозначенных процессов.

В данной системе не исключен также процесс восстановления лактозы до полиола – лактитола, однако он маловероятен в силу несоответствия ряду условий каталитического гидрирования лактозы [18].

Результаты физико-химических исследований творожной сыворотки и модельного раствора лактозы до и после электроискровой обработки в слое токопроводящих гранул магния представлены в таблице.

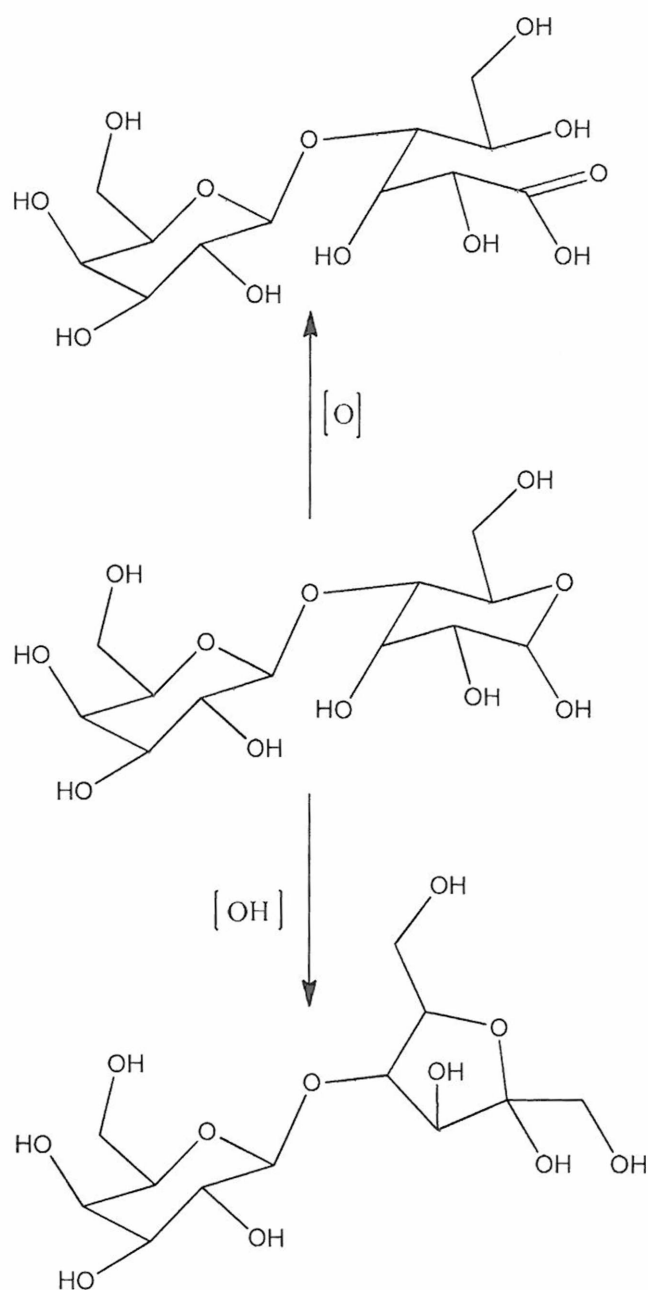


Рис. 1. Возможные преобразования лактозы вследствие электроискровой обработки
Fig. 1. Possible lactose transformations caused by electrical discharge processing

Таблица. Физические и физико-химические показатели сыворотки до и после обработки (n=3, p=0,95)
Table. Physical and physico-chemical indicators of the whey before and after processing (n=3, p=0.95)

Показатель	Сыворотка творожная осветленная		Модельный раствор лактозы	
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
Активная кислотность, ед. pH	4,18±0,2	4,76±0,23	9,16 ± 0,05	10,25 ± 0,05
Окислительно-восстановительный потенциал (-E), мВ	10±0,5	73±3,1	17 ± 0,8	86 ± 1,8
Электропроводность, мСм/см	6,48 ± 0,3	6,98 ± 0,32	30,5 ± 0,9	31,2 ± 1,5
Содержание магния, мг/100 г	5,3 ± 0,27	14,8 ± 0,7	1,0 ± 0,05	5,7 ± 0,2

В ходе исследований отмечено увеличение содержания магния, повышение pH и электропроводности исследуемых образцов после обработки электроискровыми разрядами.

Снижение окислительно-восстановительного потенциала в обработанной сыворотке (повышение антиоксидантных свойств) может свидетельствовать как о возможном прохождении в системе процесса $M \leftrightarrow M^{n+} + ne$, вероятном комплексообразовании между ионами магния и биолигандами, присутствующими в сыворотке, так и об образовании веществ, обладающих антиокислительными (восстановительными) свойствами, например, лактобионовой кислоты. Примечательно, что с повышением экспозиции электроискровой обработки до 120 с окислительно-восстановительный потенциал стремительно снижается до -195 мВ, а, следовательно, возрастают восстановительные свойства обработанной сыворотки.

Отмечено, что для модельного раствора лактозы также было свойственно снижение окислительно-восстановительного потенциала после обработки электроискровыми разрядами.

pH модельного раствора лактозы равнялся $(9,16 \pm 0,05)$; при обработке этого раствора с экспозицией 60 с pH увеличился до $(10,25 \pm 0,05)$, что соответствует одному из условий изомеризации лактозы.

Представленные результаты указывают на предпосылки к целевому преобразованию лактозы в лактулозу при электроискровой обработке раствора лактозы и в лактобионовую кислоту при обработке творожной сыворотки.

С целью идентификации продуктов ожидаемого преобразования лактозы проведен анализ модельных растворов лактозы и творожной сыворотки до и после электроискровой обработки в слот токопроводящих гранул магния методом высокоэффективной жидкостной хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения.

На рис. 2 и 3 приведены масс-фрагментограммы модельного раствора лактозы, обработанного электроискровыми разрядами с экспозицией 1 мин (рис. 2), и необработанной творожной сыворотки (рис. 3).

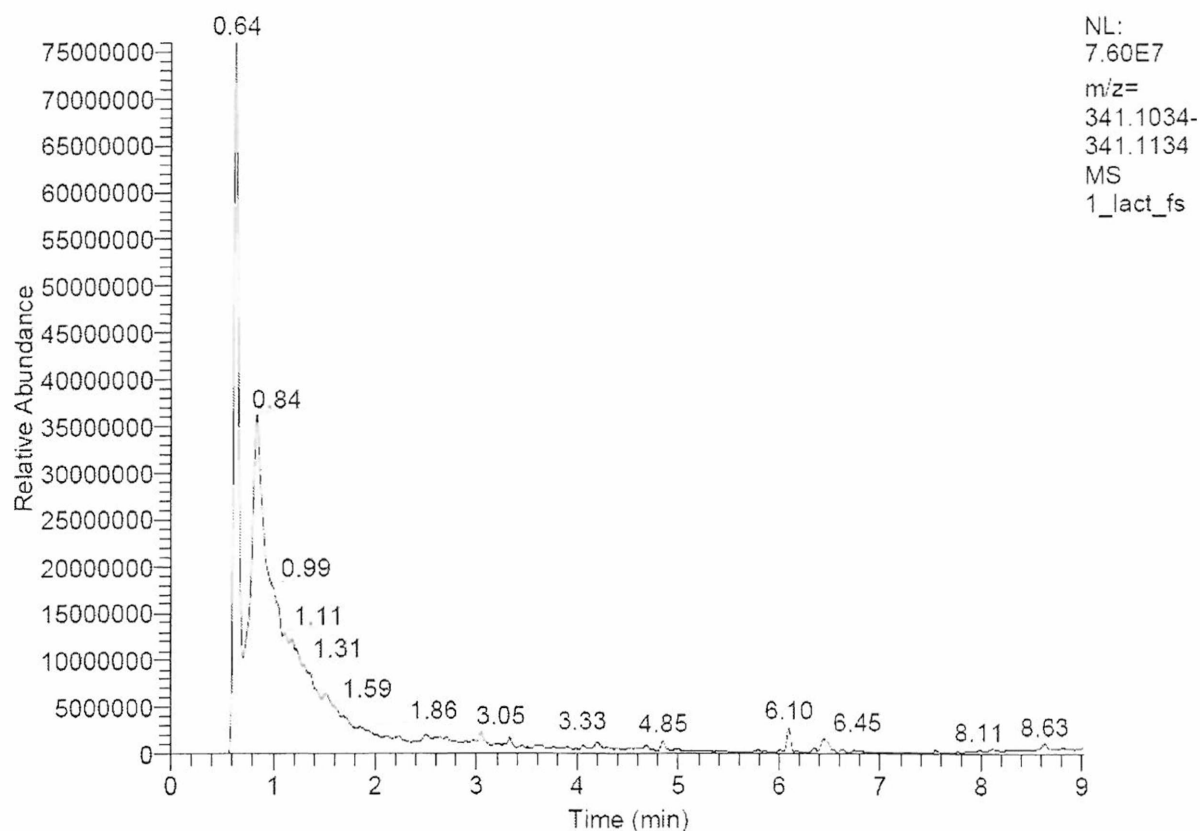


Рис. 2. Масс-фрагментограмма по иону с 341,1084 m/z раствора лактозы, обработанного в разрядной камере с электродами магния

Fig. 2. Mass-fragmentogram at ion with 341.1084 m/z of lactose solution, processed in discharge chamber with magnesium electrodes

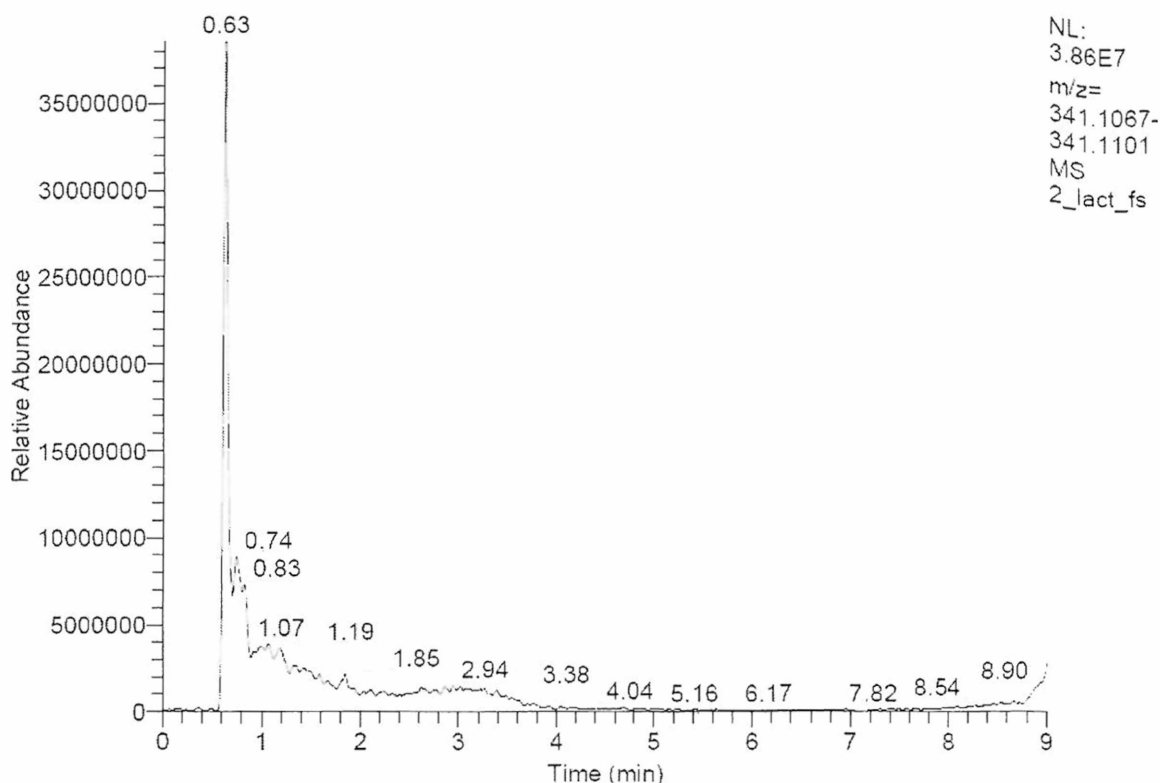
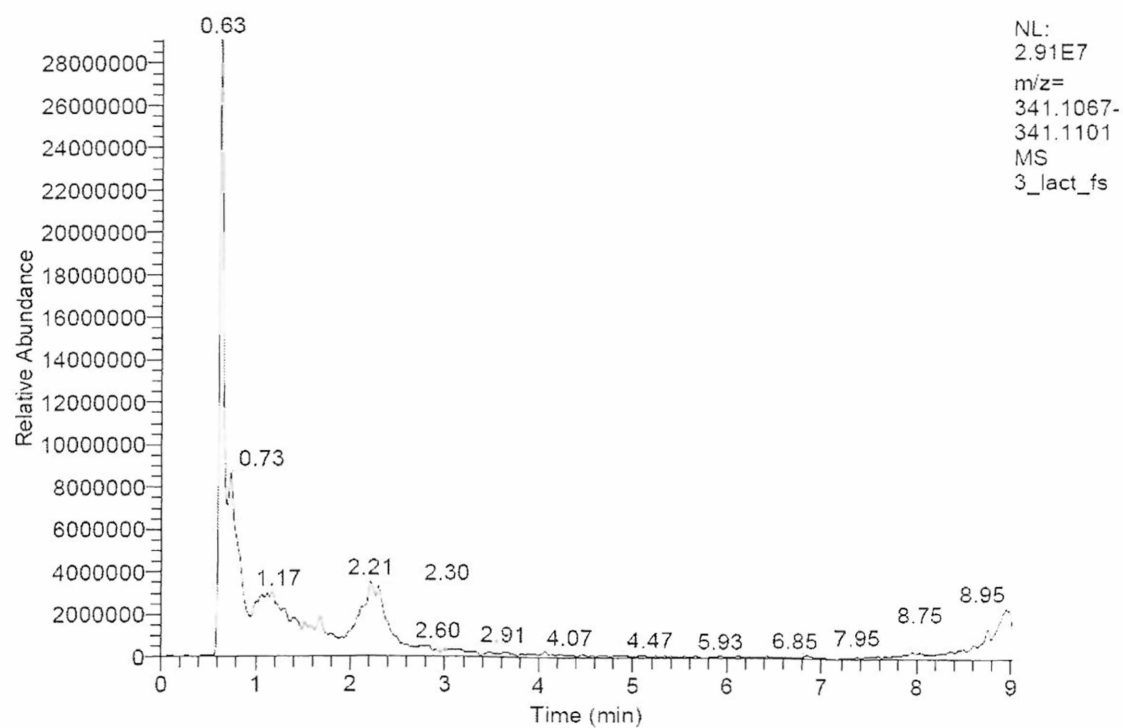


Рис. 3. Масс-фрагментограмма по иону с 341,1084 m/z исходной творожной сыворотки
Fig. 3. Mass-fragmentogram at ion with 341.1084 m/z of initial curd whey

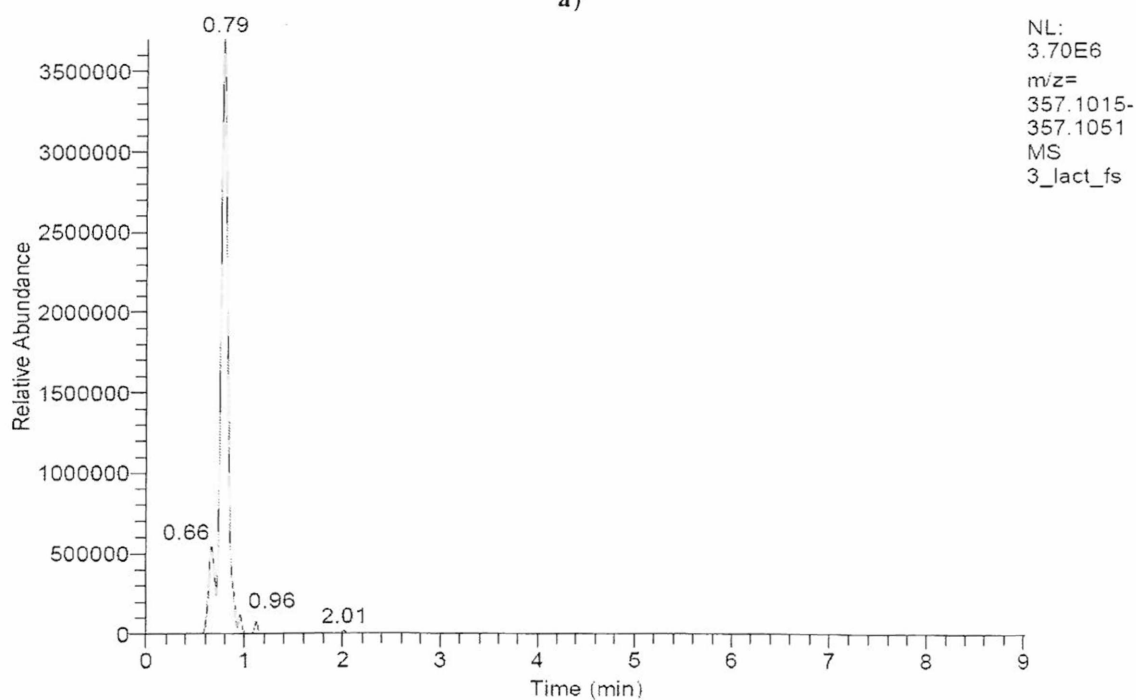
На масс-фрагментограммах по иону с 341,1084 m/z присутствует хроматографический пик со временем удерживания 0,63 мин, который может быть отнесен к лактозе [M-H]⁺, а хроматографический пик с временем удерживания 0,84 мин, присутствующий на масс-фрагментограмме обработанного модельного раствора лактозы, – к лактулозе [M-H]⁺, которая имеет идентичное значение m/z. Хроматографическое разделение лактозы и лактулозы возможно только на хиральной колонке и в данных условиях хроматографирования не достигается. Хроматографические пики по иону с 357,1033 m/z (лактобионовая кислота, [M-H]⁺) на хроматограммах обоих образцов не наблюдались. На рис. 4 а и б представлены масс-фрагментограммы по иону с 341,1084 m/z

(лактоза, лактулоза) и 357,1033 m/z (лактобионовая кислота) творожной сыворотки после электроискровой обработки в течение 1 мин. Видно, что на рис. 4 б присутствует пик с временем удерживания 0,79 мин, который с большой вероятностью может быть отнесен к лактобионовой кислоте. Данный хроматографический пик отсутствует на хроматограммах обработанного раствора лактозы и исходной творожной сыворотки.

Более детальное изучение возможных процессов превращений лактозы при электроискровой обработке творожной сыворотки с использованием аналитических стандартов, в том числе и количественное, является нашей дальнейшей задачей.



a)



b)

Рис. 4. Масс-фрагментограммы по иону с 341,1084 m/z (a) и иону с 357,1033m/z (b) творожной сыворотки, обработанной электронскими разрядами

Fig. 4. Mass-fragmentogram at ion with 341.1084 m/z (a) and ion with 357.1033 m/z (b) curd whey processed with electric sparks

Выводы

1. Предложена схема направлений возможных преобразований лактозы вследствие электронской обработки молочной сыворотки и раствора лактозы.
2. На основании результатов изменения физико-химических показателей (рН, ОВ-потенциала, электропроводности и пр.) исследуемой сыворотки и модельного раствора лактозы вследствие электроискровой обработки

установлены предпосылки к целевому преобразованию лактозы в лактобионовую кислоту или лактулозу.

3. Методом ВЭЖХ-МСВР изучен процесс преобразования лактозы в растворах молочного сахара и творожной сыворотке в результате объемного электроискрового диспергирования токопроводящих гранул магния в их среде. Показано, что в условиях эксперимента происходит изомеризация лактозы щелочного модельного раствора в лактулозу, а в слабокислом растворе творожной сыворотки идет процесс окисления лактозы.
4. На масс-фрагментограммах творожной сыворотки после электроискровой обработки в течение 1 мин, по иону 357,1033 m/z (лактобионовая кислота, [M-H]⁺), обнаружен хроматографический пик со временем удержания 0,79 мин, что с большой вероятностью может быть отнесен к лактобионовой кислоте. Установлено, что данный пик отсутствовал на хроматограммах обработанного раствора лактозы и исходной творожной сыворотки.
5. Полученные результаты могут быть применены при разработке продуктов из молочной сыворотки, обогащенных биогенными металлами (магнием и др.) и устойчивых к окислению.

Литература

1. Синельников Б. М., Храмцов А. Г., Евдокимов И. А., Рябцева С. А., Серов А. В. Лактоза и ее производные. СПб.: Профессия, 2007. 768 с.
2. McSweeney, Paul L. H., Fox P. F. (Eds.) Advanced Dairy Chemistry. Vol. 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents. New York: Springer, 2009. 784 p.
3. Saarela M., Hallamaa K., Mattila-Sandholm T., Matto J. The effect of lactose derivatives lactulose, lactitol and lactobionic acid on the functional and technological properties of potentially probiotic *Lactobacillus* strains // *International Dairy Journal*. 2003. Vol. 13, Iss. 4. P. 291–302.
4. Ganzle M. G., Haase G., Jelen P. Lactose: crystallization, hydrolysis and value-added derivatives // *International Dairy Journal*. 2008. Vol. 18. P. 685–694.
5. Гаврилов Г. Б., Макарушин А. А., Гаврилов Б. Г., Самсопкина З. И., Груздева О. М. Развитие пробиотической микрофлоры в продуктах с лактулозой // *Молочная промышленность*. 2006. № 6. С. 61–62.
6. Храмцов А. Г., Синельников Б. М., Евдокимов И. А., Рябцева С. А., Серов А. В. Физико-химические свойства, биологическая ценность и медицинское применение лактулозы // *Вестник СевКавГТУ. Серия "Продовольствие"*. 2003. № 1 (6). С. 8.
7. Полумбрик М. О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини. К.: Академперіодика, 2011. 487 с.
8. Грицаева М. В., Серов А. В., Рябцева С. А., Храмцов А. Г. Лактобионовая кислота и перспективы ее использования // *Молочная промышленность*. 2008. № 12. С. 51–52.
9. Gutierrez L. F., Hamoudi S., Belkacemi K. Lactobionic acid: a high value-added lactose derivative for food and pharmaceutical applications // *International Dairy Journal*. 2012. Vol. 26. P. 103–111.
10. Грицаева М. В. Исследование химико-технологических закономерностей процесса окисления лактозы с целью разработки технологии лактобионовой кислоты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СевКавГТУ, Ставрополь. 2011. 24 с.
11. Goderska K., Juzwa W., Szewngiel A., Czarnecki Z. Lactobionic acid production by glucose-fructose oxidoreductase from *Zymomonas mobilis* expressed in *Escherichia coli* // *Biotechnology Letters*. 2015. Vol. 37. P. 2047–2053.
12. Vlad-Cristea M. S. Production of Bioactive Lactobionic Acid Using a Novel Catalytic Method. Québec: Université Laval Québec, 2007. 116 p.
13. Храмцов А. Г., Рябцева С. А., Суюнчева Б. О. Исследование процесса изомеризации лактозы в лактулозу при электроактивации молочной сыворотки // *Вестник СевКавГТУ. Серия "Продовольствие"*. 2004. Вып. 7. С. 20–27.
14. Druliolle H., Kokoh K. B., Hahn F., Lamy C., Beden B. On some mechanistic aspects of the electrochemical oxidation of lactose at platinum and gold electrodes in alkaline medium // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 1997. Vol. 426, No. 1. P. 103–115.
15. Болога М. К., Стенпурина Г. Г., Болога А. М., Поликарпов А. А., Спиричан Е. Г. Оптимизация изомеризации лактозы в лактулозу электрофизическим методом // *Электронная обработка материалов*. 2009. № 5. С. 80–85.
16. Лопатько К. Г. Обґрунтування фізико-технологічних основ біологічної функціональності наночастинок металів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: НУБіП. К., 2015. 46 с.
17. Кочубей-Литвиненко О. В., Билык Е. А., Олишевский В. В., Маринин А. И., Лопатько К. Г. Способ обогащения молочной сыворотки коллоидными частицами биогенных металлов Mg и Mn, перспективы ее использования // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2015. № 3. С. 36–42.
18. Kuusisto J., Mikkola J.-P., Sparv M., Wärna J., Karhu H., Salmi T. Kinetics of the catalytic hydrogenation on D-lactose on a carbon supported ruthenium catalyst // *Chemical Engineering Journal*. 2008. Vol. 139. P. 69–77.

19. Roelfma W. A., Kuster B. F. Chemical reception's reactions of lactose derivatives // Netherlands Milk Dairy. 1998. No. 42. P. 469–483.
20. Патент 2439050 RU Способ получения лактобионовой кислоты / Сульман М. Г., Долуда В. Ю., Щенников С. В., Сульман Э. М., Бронштейн Л. М., Матвеева В. Г., Валетский П. М., Лакина Н. В. № 2010134743/04; заявл. 19.08.2010; опубл. 10.01.2012 Бюл. № 1.

Pateikta spaudai 2016-02

O. Kochubei-Lytvynenko, A. Ukrainets, V. Ischenko,
N. Sukhodolska, N. Ischenko

STUDY OF POSSIBLE LACTOSE TRANSFORMATIONS IN MILK WHEY TREATED WITH ELECTROSPARK CHARGES

Summary

The paper was intended to study possible lactose transformations under electrospark treatment.

The object of the study was skimmed and purified from casein dust particles curd whey and model lactose solution with the concentration of $(4.7 \pm 2.0) \%$, subject to electrospark treatment under $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ temperature with 60 sec exposition.

The obtained solutions were analysed before and after treatment by high performance liquid chromatography coupled with the Q-Exactive hybrid quadrupole-orbitrap high-resolution mass spectrometry (HPLC-HRMS).

Options of physico-chemical processes inside the milk whey under electrospark treatment were suggested as well as schemes for directions of possible lactose transformations.

Changes of physico-chemical indicators of curd whey before and after electrospark treatment were examined.

Extracted mass chromatograms of curd whey treated with electrospark charges during 1 minute opened with the exact mass of lactose (341.1078 m/z) and lactobionic acid (357.1027 m/z) discovered a chromatographic peak with the retention time of 0.79 minutes, which can be appurtenant to lactobionic acid. It was established that this peak was absent at chromatograms of treated milk sugar solution and initial curd whey.

Keywords: whey, Lactose, Lactulose, Lactobionic acid, electrical discharge processing, HPLC-HRMS, magnesium.

O. Kočiubej-Litvinenko, A. Ukraineec, V. Iščenko,
N. Suchodolskaja, N. Iščenko

IŠRŪGŲ, APDOROTŲ ELEKTROS KIBIRKŠTINIAIS IŠLYDŽIAIS, GALIMŲ LAKTOZĖS POKYČIŲ TYRIMAS

Santrauka

Pasiūlyta išrūgų, apdorotų elektros kibirkštiniais išlydžiais, galimų laktozės pokyčių krypties schema. Nustatytos prielaidos tiksliniam laktozės virtimui laktobionine rūgštimi arba laktuloze. Rezultatai gali būti taikomi kuriant išrūgų produktus, papildytus biogeniniais metalais (magniu ir kt.) ir atsparius oksidacijai.

Raktažodžiai: pieno išrūgos, laktozė, laktulozė, laktobioninė rūgštis, apdorojimas elektros kibirkštiniais išlydžiais, magnis.